

VŠB -Technická univerzita Ostrava

Fakulta Strojní

Katedra částí a mechanismu strojů

Návrh venkovního posilovacího stroje

Design of a Outdoor Fitness Machine

Student:

Marek Hlaváč

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Ivana Kunzová , Ph.D.

Ostrava 2016

Zadání bakalářské práce

Student: **Marek Hlaváč**
Studijní program: **B2341 Strojírenství**
Studijní obor: **2302R010 Konstrukce strojů a zařízení**
Specializace: **40 Konstrukce strojních dílů a skupin**
Téma: **Venkovní posilovací stroj
Outdoor Fitness Machine**
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

Navrhnete venkovní posilovací stroj z ocelové svařované konstrukce pro 2 osoby. Posilovací zařízení může být zaměřeno na posilování jakékoliv části lidského těla a bude sloužit výhradně dospělým (seniorům). Pevnostně zkontrolujte všechny navržené části. Nakreslete sestavu celého zařízení a výrobní výkres vybraného dílu.

Seznam doporučené odborné literatury:

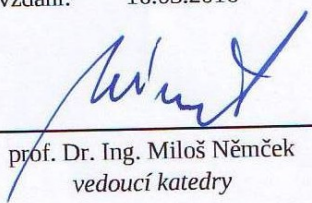
Bolek, A.; Kochman, J. Části strojů I. Praha: SNTL, 1989. 775s. ISBN 80-03-00046-7
Bolek, A.; Kochman, J. Části strojů II. Praha: SNTL, 1990. 707s. ISBN 80-03-00426-8
Dejl, Z. Konstrukce strojů a zařízení I. Ostrava: Montanex, 2000. 225s. ISBN 80-7225-018-3
Kaláb, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části spojovací. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 90s. ISBN 978-80-248-1290-8
Kaláb, K. Části a mechanismy strojů pro bakaláře, Části pohonů strojů. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 128s. ISBN 978-80-248-1860-3
Leinveber, J.; Vávra, P. Strojnické tabulky. Albra-pedagogické nakladatelství, Úvaly, 2006. 914s. ISBN 80-7361-033-7
Normy, katalogy, prospekty a www-stránky k dané problematice


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Ivana Kunzová, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


prof. Dr. Ing. Miloš Němček
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Marek Hlaváč

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím , že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB- TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářské práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmů z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užití své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnutí licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Marek Hlaváč

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Hovězí 662, 756 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

HLAVÁČ, M. *Návrh venkovního posilovacího stroje*: bakalářská práce. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismu strojů, 2016, Vedoucí práce: Kunzová, I.

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem venkovního posilovacího stroje z ocelové svařované konstrukce pro 2 osoby. Úvod této práce je zaměřen na rešerši venkovních posilovacích strojů. Na základě srovnání jednotlivých posilovacích strojů je navrženo vhodné řešení konstrukce jednoduchého venkovního posilovacího stroje pro 2 osoby. Poté jsou určeny síly, které ho zatěžují. Následuje návrh dalších důležitých částí celého zařízení. Dále jsou provedeny pevnostní výpočty čepů, šroubů a svárů, které se na venkovním posilovacím stroji vyskytují. Na závěr je uveden technický popis navrženého víceúčelového posilovacího stroje s popisem jeho funkce. K práci přiložena také výkresová dokumentace.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

HLAVÁČ, M. *Design of a Outdoor Fitness Machine*: Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine parts and Mechanism, 2016, Thesis hed: Kunzová, I.

The thessis focuses on construction design of a Outdoor Fitness Machine of welded steel construction for 2 persons. Introduction of this work is focused on the retrieval of outdoor fitness machines. Based on the comparison of fitness equipment is designed suitable solution design simple outdoor fitness machine for 2 persons. Then are forces that it burden. Following the proposal of other important parts of the entire facility. Furthermore, they are performed strength calculations pins, bolts and welds that the outdoor exercise machines occur. At the end there is a technical description of the proposed multi-purpose weight training machines with a description of its function. The work also appended drawings.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	1
1 Úvod.....	3
1.1 Cíle bakalářské práce	3
2 Posilovací stroje	4
2.1 K historii.....	4
2.2 Koncepce posilovacích strojů	5
2.3 Rozdělení posilovacích strojů	5
2.4 Venkovní posilovací stroje.....	6
3 Návrh posilovacího stroje	7
3.1 Kontrola vybraného místa konstrukce na ohyb.....	8
3.2 Kontrola svarů	10
3.2.1 Kontrola svaru 1	10
3.2.2 Kontrola svaru 2	13
3.2.3 Kontrola svaru 3	15
3.2.4 Kontrola svaru 4	17
3.2.5 Kontrola svaru 5	20
3.2.6 Kontrola svaru 6	22
4.3 Kontrola čepů	26
4.3.1 Kontrola čepu A, B.....	26
4.3.2 Kontrola čepu C.....	32
5 Popis zařízení	35
6 Závěr	36
Seznam Použité literatury	37
Seznam příloh	38

Seznam použitých značek a symbolů

D	Vnější průměr profilu materiálu	[mm]
D_{B1}, D_{C1}	Vnější průměr pouzdra	[mm]
M_{0B}, M_{0C}	Max. zatěžující moment čepu	[Nmm]
E_5, E_6, e_5, e_6	Délka svaru	[mm]
$F, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_A, F_B$	Zatěžující síly	[N]
F_{dyn}	Max. dynamická síla	[N]
F_{cv}	Max. síla, kterou působí cvičence	[N]
J_{z1}, J_{z3}, J_{z6}	Kvadratický moment průřezu svaru	[mm ⁴]
K_1, K_2, K_3, K_4	Vnější průměr svaru	[mm]
M_0	Max. Ohybový moment materiálu	[Nmm]
$M_{0sv1}, M_{0sv3}, M_{0sv6}$	Max. ohybový moment působící na svar	[Nmm]
M_{PoB}, M_{PoC}	Max. moment působící na pouzdro	[Nmm]
R_e	Mez kluzu materiálu	[MPa]
$S_{s1}, S_{s2}, S_{s3}, S_{s4}, S_{s5}, S_{s6}$	Nosná plocha průřezu svaru	[mm ²]
W_0	Průřezový modul ohybu materiálu	[mm ³]
$W_{osv1}, W_{osv3}, W_{osv6}$	Průřezový modul ohybu svaru	[mm ³]
W_{PoB}, W_{PoC}	Průřezový modul v ohybu pouzdra	[mm ³]
$a, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$	Výška trojúhelníku vepsaného do svaru	[mm]
d	Vnitřní průměr profilu materiálu	[mm]
d_{B1}, d_{C1}	Vnitřní průměr pouzdra	[mm]
k_1, k_2, k_3, k_4	Vnitřní průměr svaru	[mm]
$k_{1S1}, k_{2S1}, k_{3S1}, k_{4S1}, k_{6S1}$	Převodní součinitel čelní	[-]
$k_{1S2}, k_{2S2}, k_{3S2}, k_{4S2}, k_{5S}, k_{6S2}$	Převodní součinitel boční	[-]
k_B, k_C	Minimální průměr čepu	[mm]
k_{B1}, k_{C1}	Průměr čepu	[mm]
$k_s, k_{s1}, k_{s2}, k_{s3}, k_{s4}, k_{s5}, k_{s6}$	Statická bezpečnost	[-]

k_{sB}, k_{sC}	Statická bezpečnost čepu	[-]
$l_{B1}, l_{B2}, l_{B3}, l_{B4}, l_{C1}, l_{C2}, l_{C3}, l_{C4}$	Rozměry čepu	[mm]
$m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, m_7, m_8$	Délka ramene síly působící na svár	[mm]
n_2, n_4, n_5	Délka ramene síly působící na svár	[mm]
$u_A, u_B, u_{B1}, v_A, v_B$	Délka ramene síly působící na čep	[mm]
$z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$	Odvěsna trojúhelníku svaru	[mm]
$\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$	Součinitel tloušťky kovového svaru	[-]
σ_0	Maximální ohybové napětí materiálu	[MPa]
$\sigma_{\perp 1}, \sigma_{\perp 3}, \sigma_{\perp 6}$	Napětí ve sváru při namáhání na ohyb	[MPa]
σ_{DOV}	Dovolené napětí pro namáhání na ohyb	[MPa]
$\sigma_{DOV1}, \sigma_{DOV2}, \sigma_{DOV3},$	Dovolené napětí pro namáhání svaru	[MPa]
$\sigma_{DOV4}, \sigma_{DOV5}, \sigma_{DOV6}$		
$\sigma_{DB}, \rho_{DB}, \rho_{DB1}, \sigma_{DC}, \rho_{DC}, \rho_{DC1}$	Hodnota dovoleného napětí čepu	[MPa]
$\sigma_{PoB}, \sigma_{PoC}$	Max. Napětí působící na pouzdro	[MPa]
$\sigma_{PDOVB}, \sigma_{PDOVC}$	Dovolené napětí pouzdra	[MPa]
$\tau_{//1}, \tau_{//2}, \tau_{//3}, \tau_{//4}, \tau_{//6}$	Napětí ve svaru při namáhání na smyk	[MPa]
$\tau_{\perp 4}, \tau_{\perp 5}, \tau_{\perp 6}$	Napětí ve svaru při namáhání na smyk	[MPa]
$\tau_{DSV1}, \tau_{DSV2}, \tau_{DSV3},$	Dovolené napětí ve svaru	[MPa]
$\tau_{DSV4}, \tau_{DSV5}, \tau_{DSV6}$		
τ_{DB}, τ_{DC}	Hodnota dovoleného tlaku čepu	[MPa]
$\tau_{red1}, \tau_{red2}, \tau_{red3},$	Redukované výsledné napětí svaru	[MPa]
$\tau_{red4}, \tau_{red5}, \tau_{red6}$		
τ_{sB}, τ_{sC}	Napětí na stříh čepu	[MPa]
ρ_B, ρ_C	Napětí na otlačení čepu	[MPa]

1 Úvod

Cílem bakalářské práce je navrhnout jednoduchý venkovní posilovací z ocelově svařované konstrukce pro 2 osoby, který je zaměřen pro posilování, jak spodní, tak i horní části lidského těla a bude sloužit především dospělým (seniorům). V první části bakalářské práce bude uvedena literární rešerše, ve které budou popsány různé provedení konstrukcí venkovních posilovacích strojů. V další části bude popsáno konstrukční řešení včetně kritických míst se čepovými a svařovanými spoji navrhlé konstrukce. Na závěr bude popsán technický popis zařízení doplněn o výkresovou dokumentaci.

1.1 Cíle bakalářské práce

- Vypracovat rešerši posilovacích strojů
- Navrhnout vhodný konstrukční návrh
- Pevnostní kontrola kritických míst
- Technický popis stroje a shrnutí práce
- Vytvořit výkresovou dokumentaci

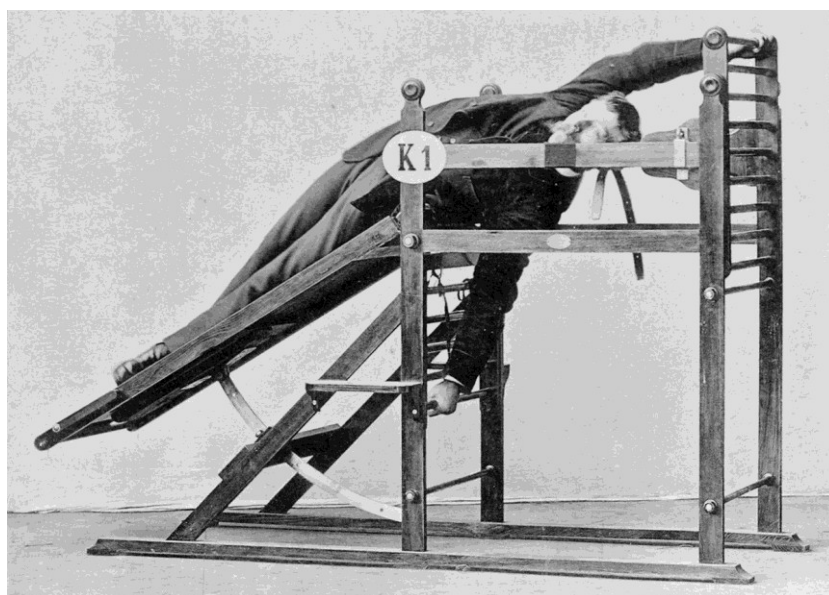
2 Posilovací stroje

Posilovacím strojem se rozumí stroj, který slouží pro procvičování a posilování jakéhokoli části lidského těla. Tyto stroje bývají většinou konstruovány pro člověka s hmotností do 150 kg. Využívají se v posilovacích a rehabilitačních centrech, doma nebo venku. Stroje mohou být pevně připevněny k zemi, nebo s nimi lze volně pohybovat. Posilovací stroje mohou být buďto stroje jednoúčelové, na kterých se dá cvičit pouze jedna svalová partie nebo víceúčelové, na kterých lze posilovat více svalových partií.

2.1 K historii

Lidské tělo se skládá přibližně z 640 svalů a prapůvodem jejich posilování bylo zdvihání těžkých břemen. Účelem bylo mít sílu (Řecko – Řím) na porovnání s ostatními, motivací byla soutěživost. Řekové se tím bavili (hry pod Olympem) - olympijské hry. Následně byla břemena nahrazena činkami a první posilovací stroj přišel na řadu v roce 1960.

Jednalo se o běžecký pás, který byl vynalezen konstruktérem Williamem Staubem. První stroje navrhnuté pro lidi se speciálními potřebami byly spíše prototypy vyrobené na míru jednotlivce a o jejich konkrétních konstrukcích není v literatuře zmíněno. [7]



Obr.2.1 – Historie posilovacích strojů [7]

2.2 Koncepce posilovacích strojů

V rámci průzkumu trhu lze stroje rozdělit na tři pomyslné koncepce nabízené na trhu. První a méně rozšířená varianta je stroj, kdy cvičenec využívá hmotnosti vlastního těla jako závaží. Nelze regulovat zátěž, lze pouze navyšovat počet jednotlivých cviků. Druhé a třetí, více populární varianty jsou stroje, které můžeme využívat v interiérovém prostředí a to speciální rehabilitační posilovací stroje určené především do nemocnic, do rehabilitačních center a nebo domácí posilovací stroje s umístěním do fitness center či do domovů.

2.3 Rozdělení posilovacích strojů

- Venkovní posilovací stroje
- Interiérové rehabilitační stroje pro centra
- Domácí posilovací stroje



Obr.2.2 – Domácí posilovací stroj [6]

2.4 Venkovní posilovací stroje

Tyto produkty jsou bezpochyby svojí konstrukcí odlišné od běžných posilovacích strojů a svoje využití najdou hlavně na veřejných místech, sportovištích či dětských hřištích.

Venkovní prostředí přináší hned několik úskalí. Stroje musí být dobře chráněny proti vlivu počasí, například povrchovými úpravami (zinkováním) či korozivzdorným lakováním ocelových konstrukcí. Ostatní nekovové součásti jako například: měkčené opěrky, dotykové plochy, které musí být vyrobeny z materiálů, které vyhovují nárokům na celoroční používání a dobře odolávají změnám teplot.

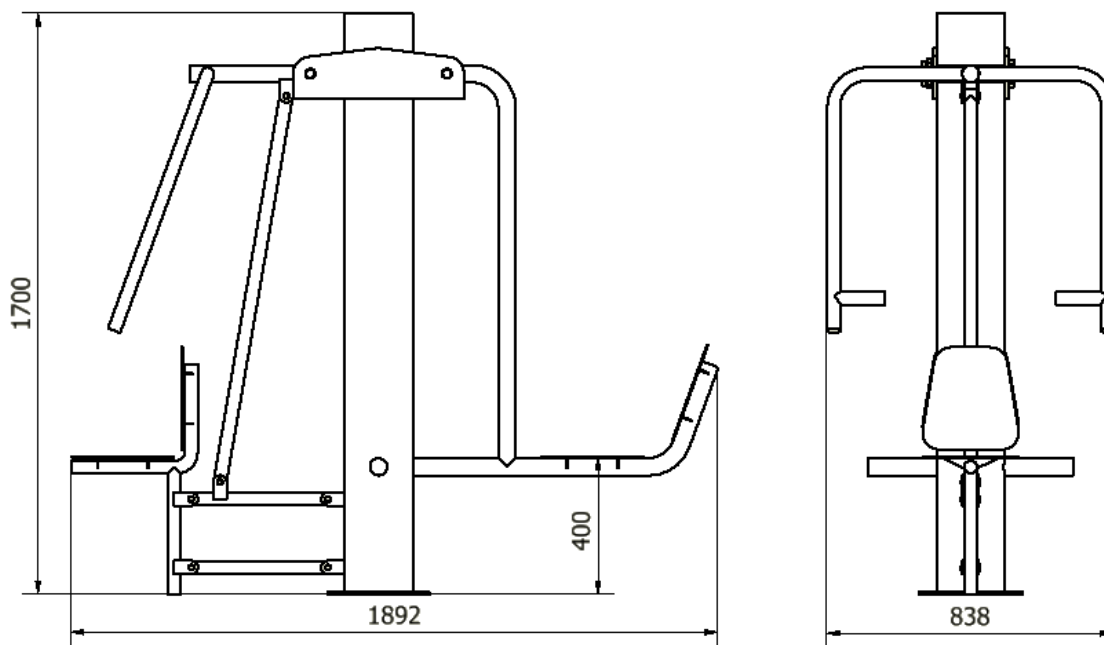
Funkčnost venkovních posilovacích strojů je zajištěna minimální údržbou pohyblivých částí bez vniknutí vody a nečistot. Stroj je zabezpečen proti přemístění či krádeži tak, že jeho střední nosná část je pevně uložena v zemi. Tato část je nejvíce namáhána a proto ukotvení v zemi se běžně provádí betonovými bloky, do kterých je střední část vestavěna. Z principu stroje není možná regulace zátěže.



Obr.2.3 – Druhy venkovních posilovacích strojů [6]

3 Návrh posilovacího stroje

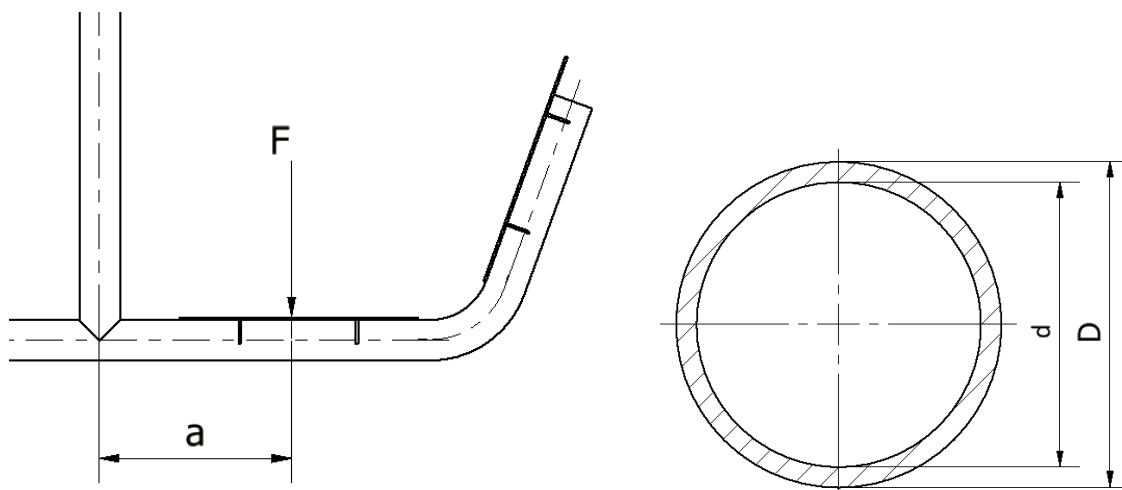
Při návrhu posilovacího stroje jsem vycházel především ze základních rozměrů, jako je celková výška, výška sedací části cvičence nad zemí, šířka a délka stroje. Maximální váhu člověka jsem stanovil 150 kg, jelikož posilovací stroj je určen pro posilování s vlastní vahou, byla váha cvičence jediným zatěžujícím faktorem, ovlivňující částí stroje. Dalším cílem bylo, aby stroj umožnil cvičení jak spodní, tak i horní části těla cvičence. Hlavní nosný panel je pevně upevněn v zemi pomocí šesti šroubů. Pro konstrukci jsem volil profilovou ocel kruhového průřezu od firmy ZACHA s.r.o. Materiálem je ocel nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel vhodná pro výrobu dutých profilů, nebo k svařování normy ČSN 11 523 a meze pevnosti $R_e = 355 \text{ MPa}$.



Obr.3.1 – Návrh posilovacího stroje

3.1 Kontrola vybraného místa konstrukce na ohyb

Ohyb jsem kontroloval u nosné části stroje pro cvičence, kde jsem kontroloval, zda profil vydrží zatížení ohybovou silou, která působí na profil. Ohybová síla F je maximální hmotnost cvičence, která vzniká při sednutí na sedadlo stroje. Materiálem je kruhová profilová ocel TR Ø 51 x 3,2 - ČSN 42 5715.01 od firmy ZACHA s.r.o.



Obr.3.2 – Schéma zatížení silou F , průřezu materiálu

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F = 1500\text{N}$

Délka nosníku – $a = 250\text{mm}$

Vnější průměr profilu – $D = 51\text{mm}$

Vnitřní průměr profilu – $d = 44,6\text{mm}$

Statická bezpečnost – $k_s = 2$

Mez kluzu materiálu – $Re = 355\text{MPa}$

Celkový zatěžující moment na ohyb:

$$M_0 = F \cdot a = 1500 \cdot 250 = 375000\text{Nmm} \quad (1)$$

Průřezový modul v ohybu:

$$W_o = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right) = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{51^4 - 44,6^4}{51} \right) = 5406,2\text{mm}^3 \quad (2)$$

Výpočet maximálního napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} = \frac{375000}{5406,2} = 69,4 MPa \quad (3)$$

Maximální dovolené napětí:

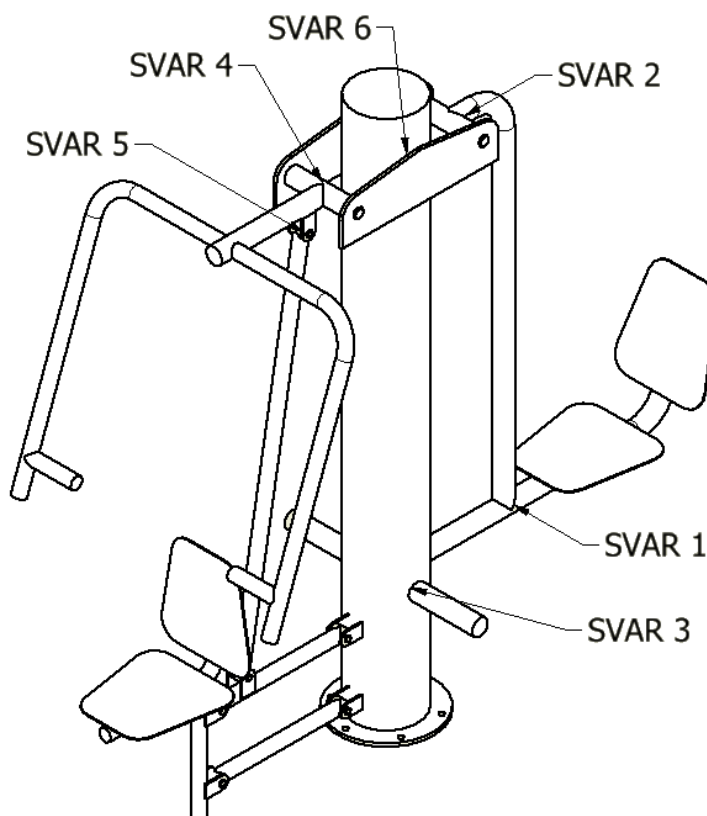
$$\sigma_{DOV} = \frac{R_e}{k_s} = \frac{355}{2} = 177,5 MPa \quad (4)$$

$$\sigma_o < \sigma_{DOV} \quad (5)$$

$$69,4 < 177,5 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.2 Kontrola svarů

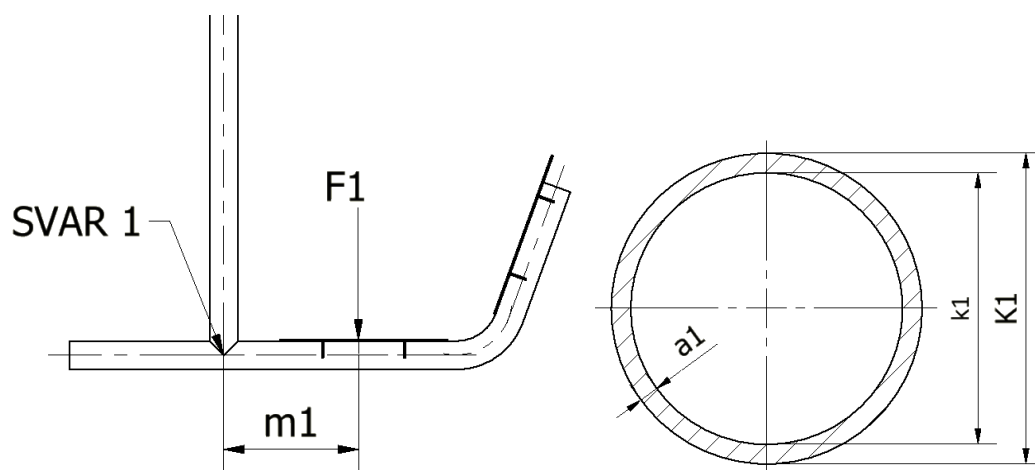
V návrhu konstrukce venkovního posilovacího stroje se nachází několik svárů, které jsou namáhané ohybovým, smykovým nebo tahovým napětím a je zapotřebí pro tyto svary provést pevnostní kontrolu. Na obr.3.3 můžeme vidět nejvíce namáhané svary, které byly zkontrolovány, a které jsou důležité z hlediska bezpečnosti cvičence. Všechny svary jsou obvodové koutové. Svary jsou vyrobeny elektrickým obloukem a zvolil jsem jednu z nejpoužívanějších rutilových elektrod pro svařování všech běžných konstrukčních nelegovaných ocelí. Elektrodu s označením E-R 117, $R_e = 410 \text{ MPa}$.



Obr.3.3 – Posilovací stroj s vyznačenými svary

3.2.1 Kontrola svaru 1

Tento koutový svar je velice důležité zkontrolovat, protože musí zajistit nosnost cvičence. Svar spojuje sedací část a nosnou trubku na ni kolmou. Na svar působí síla F_1 o délce m_1 , která má velikost hmotnost cvičence.



Obr.3.4 – Ztěžující síla a nosný průřez svaru 1

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_1 = 1500\text{N}$

Délka ramene síly – $m_1 = 250\text{mm}$

Vnější průměr svaru – $K_1 = 57\text{mm}$

Vnitřní průměr svaru – $k_1 = 51\text{mm}$

Šířka svaru – $a_1 = 3\text{mm}$

Statická bezpečnost – $k_{s1} = 2$

Mez kluzu svarového kovu – $R_e = 410\text{ MPa}$

Celkový zatěžující moment:

$$M_{0sv1} = F_1 \cdot m_1 = 1500 \cdot 250 = 375000\text{Nmm} \quad (6)$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na ohyb:

$$\sigma_{\perp 1} = \frac{M_{osv1}}{W_{osv1}} = \frac{M_{0sv1}}{\frac{J_{z1}}{e_{s1}}} = \frac{375000}{\frac{186080,5}{28,5}} = 57,5\text{MPa} \quad (7)$$

$$e_{s1} = \frac{k_1}{2} + a_1 = \frac{51}{2} + 3 = 28,5\text{mm} \quad (8)$$

$$W_{osv1} = \frac{J_{z1}}{e_{s1}} = \frac{J_{z1}}{\frac{k_1}{2} + a_1} \quad (9)$$

Kvadratický moment průřezu svaru :

$$J_{z1} = \frac{\pi}{64} \cdot (K_1^4 - k_1^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (57^4 - 51^4) = 186080,5 \text{ mm}^4 \quad (10)$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na smyk:

$$\tau_{//1} = \frac{F_1}{S_{s1}} = \frac{1500}{508,9} = 2,9 \text{ MPa} \quad (11)$$

$$S_{s1} = \frac{\pi \cdot ((k_1 + 2 \cdot a_1)^2 - k_1^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((51 + 2 \cdot 3)^2 - 51^2)}{4} = 508,9 \text{ mm}^2 \quad (12)$$

Dovolené napětí ve svaru:

$$\tau_{DSV1} = \beta_1 \cdot \sigma_{DOV1} = \beta_1 \cdot \frac{R_e}{k_{s1}} = 1,2 \cdot \frac{410}{2} = 246 \text{ MPa} \quad (13)$$

β - Součinitel tloušťky koutového svaru, $\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z$ (pro $z < 10 \text{ mm}$)

$$z_1 = \sqrt{2} \cdot a_1 = 1,41 \cdot 3 = 4,24 \text{ mm} \quad (14)$$

$$\beta_1 = 1,3 - 0,03 \cdot z_1 = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,2 \quad (15)$$

Pevnostní podmínka:

$$\tau_{red1} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\perp 1}}{k_{1s1}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{//1}}{k_{1s2}}\right)^2} \leq \beta_1 \cdot \sigma_{DOV1} \quad (16)$$

Převodní součinitel čelní - $k_{1s1} = 0,75$

Převodní součinitel boční - $k_{1s2} = 0,65$

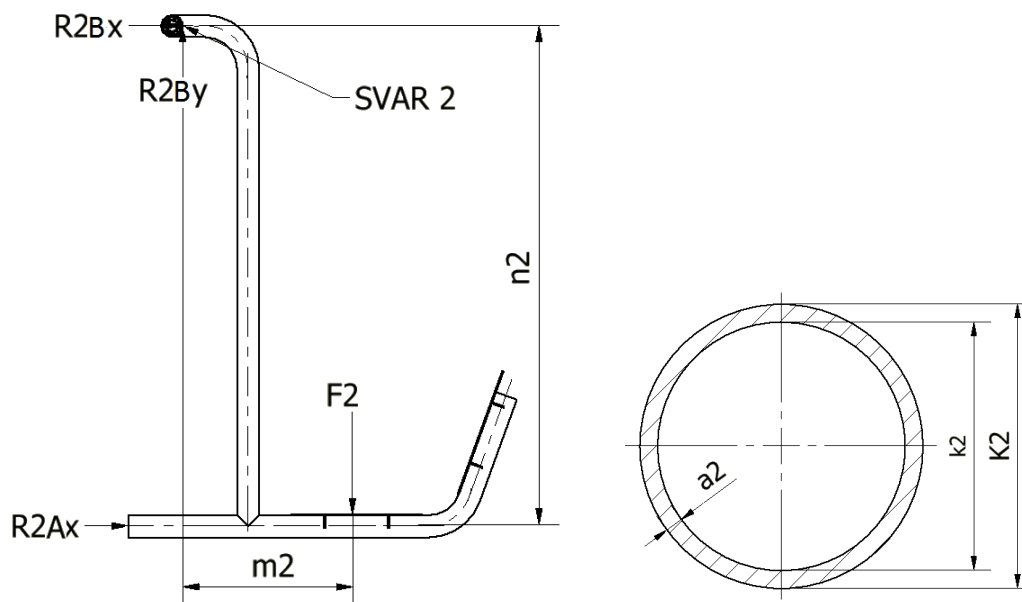
$$\tau_{red1} = \sqrt{\left(\frac{57,5}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{2,9}{0,65}\right)^2} = 76,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{red1} < \tau_{DSV1} \quad (17)$$

$76,8 < 246 \rightarrow \text{vyhovuje}$

3.2.2 Kontrola svaru 2

Je to koutový svar spojující nosnou trubku s čepem konstrukce. Na svar působí síla F_{2b} , která byla vypočítána ze síly F_2 maximální hmotnost cvičence. Svar je kontrolován na namáhání smyk.



Obr.3.5 – Zatěžující síla a nosný průřez svaru 2

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_2 = 1500\text{N}$

Délka ramene síly – $m_2 = 400\text{mm}$

Délka ramene reakce – $n_2 = 1150\text{mm}$

Vnější průměr svaru – $K_2 = 57\text{mm}$

Vnitřní průměr svaru – $k_2 = 51\text{mm}$

Šířka svaru – $a_2 = 3\text{mm}$

Statická bezpečnost – $k_{s2} = 2$

Mez kluzu svarového kovu – $R_e = 410\text{MPa}$

Výpočet reakčních sil na svár:

$$\sum M_{R2B} = 0 \quad (18)$$

$$F_2 \cdot m_2 - R_{2ax} \cdot n_2 = 0$$

$$R_{ax} = \frac{F_2 \cdot m_2}{n_2} = \frac{1500 \cdot 400}{1150} = 521,8\text{N}$$

$$\sum F_{2x} = 0 \quad (19)$$

$$R_{2ax} + R_{2bx} = 0$$

$$R_{2bx} = -R_{2ax}$$

$$R_{2bx} = -521,8N$$

$$\sum F_{2y} = 0 \quad (20)$$

$$F_2 - R_{2by} = 0$$

$$R_{2by} = F_2$$

$$R_{2by} = 1500N$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na smyk:

$$\tau_{//2} = \frac{R_{2By}}{S_{s2}} = \frac{1500}{508,9} = 2,9MPa \quad (21)$$

$$S_{s2} = \frac{\pi \cdot ((k_2 + 2 \cdot a_2)^2 - k_2^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((51 + 2 \cdot 3)^2 - 51^2)}{4} = 508,9mm^2 \quad (22)$$

Dovolené napětí ve svaru:

$$\tau_{DSV2} = \beta_2 \cdot \sigma_{DOV2} = \beta_2 \cdot \frac{R_e}{k_{s2}} = 1,2 \cdot \frac{410}{2} = 246MPa \quad (23)$$

β - Součinitel tloušťky koutového svaru, $\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z$ (pro $z < 10mm$)

$$z_2 = \sqrt{2} \cdot a_2 = 1,41 \cdot 3 = 4,24mm \quad (24)$$

$$\beta_2 = 1,3 - 0,03 \cdot z_2 = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,2 \quad (25)$$

Pevnostní podmínka:

$$\tau_{red2} = k_{2S1} \cdot \tau_{//2} \leq \beta_2 \cdot \sigma_{DOV2} \quad (26)$$

Převodní součinitel boční – $k_{2S2} = 0,65$

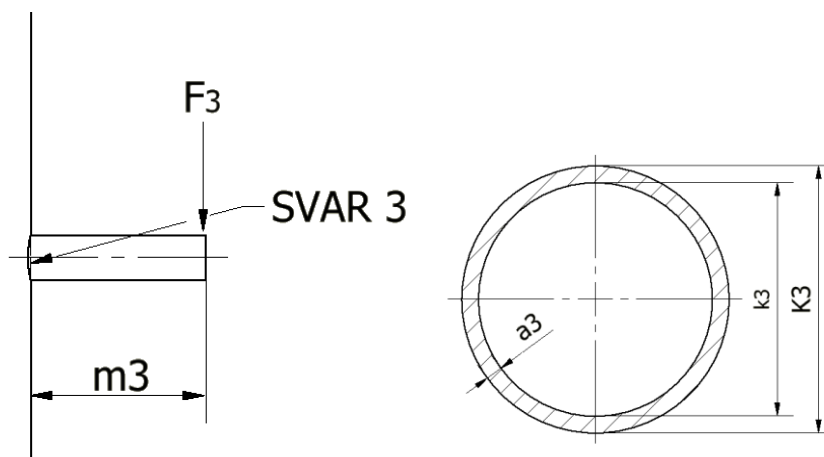
$$\tau_{red2} = 0,65 \cdot 2,9 = 1,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{red2} < \tau_{DSV2} \quad (27)$$

$$1,9 < 246 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.2.1 Kontrola svaru 3

Tento koutový svár je umístěn na hlavním nosném sloupu, který spojuje opěru pro nohy a hlavní nosný sloup. Na svár působí síla F_3 což je součet síly F_{cv} polovina hmotnosti cvičence a dynamické síly F_{dyn} vyvolané cvičencem.



Obr.3.6 – Zatěžující síla a nosný průřez svaru 3

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_{cv} = 1500 \text{ N}$

Maximální dynamická síla – $F_{dyn} = 750 \text{ N}$

Délka ramene síly – $m_3 = 200 \text{ mm}$

Vnější průměr svaru – $K_3 = 57 \text{ mm}$

Vnitřní průměr svaru – $k_3 = 51 \text{ mm}$

Šířka svaru – $a_3 = 3 \text{ mm}$

Statická bezpečnost – $k_{s3} = 2$

Mez kluzu svarového kovu – $R_e = 410 \text{ MPa}$

Celková zatěžující síla:

$$F_3 = F_{cv} + F_{dyn} = 1500 + 750 = 2250N \quad (28)$$

Celkový zatěžující moment:

$$M_{osv3} = F_3 \cdot m_3 = 2250 \cdot 200 = 450000Nm \quad (29)$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na ohyb:

$$\sigma_{\perp 3} = \frac{M_{osv3}}{W_{osv3}} = \frac{M_{osv3}}{\frac{J_{z3}}{e_{s3}}} = \frac{450000}{\frac{186080,5}{28,5}} = 69MPa \quad (30)$$

$$e_{s3} = \frac{k_3}{2} + a_3 = \frac{51}{2} + 3 = 28,5mm \quad (31)$$

$$W_{osv3} = \frac{J_{z3}}{e_{s3}} = \frac{J_{z3}}{\frac{k_3}{2} + a_3} \quad (32)$$

Kvadratický moment průřezu svaru:

$$J_{z3} = \frac{\pi}{64} \cdot (K_3^4 - k_3^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (57^4 - 51^4) = 186080,5mm^2 \quad (33)$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na smyk:

$$\tau_{//3} = \frac{F_3}{S_{s3}} = \frac{2250}{508,9} = 4,4MPa \quad (34)$$

$$S_{s3} = \frac{\pi \cdot ((k_3 + 2 \cdot a_3)^2 - k_3^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((51 + 2 \cdot 3)^2 - 51^2)}{4} = 508,9mm^2 \quad (35)$$

Dovolené napětí ve svaru:

$$\tau_{DSV3} = \beta_3 \cdot \sigma_{DOV3} = \beta_3 \cdot \frac{R_e}{k_{s3}} = 1,2 \cdot \frac{410}{2} = 246MPa \quad (36)$$

β - Součinitel tloušťky koutového svaru, $\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z$ (pro $z < 10mm$)

$$z_3 = \sqrt{2} \cdot a_3 = 1,41 \cdot 3 = 4,24mm \quad (37)$$

$$\beta_3 = 1,3 - 0,03 \cdot z_3 = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,2 \quad (38)$$

Pevnostní podmínka:

$$\tau_{red3} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\perp 3}}{k_{3s1}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{//3}}{k_{3s2}}\right)^2} \leq \beta_3 \cdot \sigma_{DOV3} \quad (39)$$

Převodní součinitel čelní - $k_{3s1} = 0,75$

Převodní součinitel boční - $k_{3s2} = 0,65$

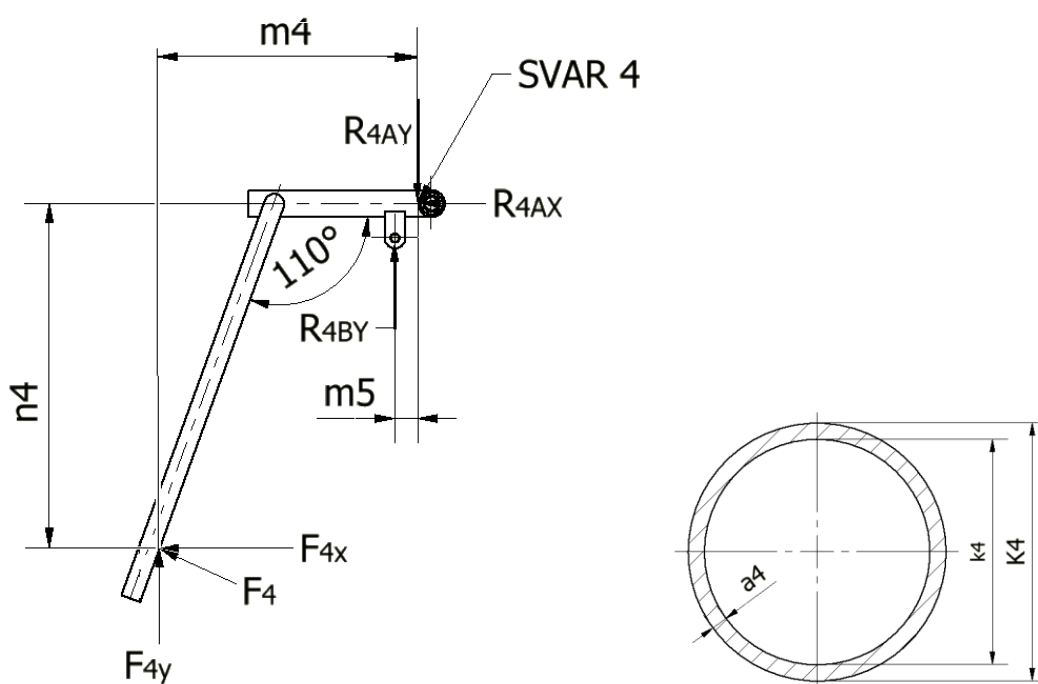
$$\tau_{red3} = \sqrt{\left(\frac{69}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{4,4}{0,65}\right)^2} = 92,2 MPa$$

$$\tau_{red3} < \tau_{DSV3} \quad (40)$$

$$92,2 < 246 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.2.4 Kontrola svaru 4

Na tento koutový svar působí síla F_4 , která je rovna maximální síly, kterou je cvičenec schopen vyvinout rukama na rameno páky posilovacího stroje. Maximální sílu jsem zvolil 1000N a svar je kontrolován na namáhání na smyk.



Obr.3.7 – Zatěžující síla a nosný průřez svaru 4

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_4 = 1000\text{N}$

Délka ramene síly – $m_4 = 530\text{mm}$

Délka ramene síly – $n_4 = 660\text{mm}$

Délka ramene reakce – $m_5 = 44,5\text{mm}$

Vnější průměr svaru – $K_4 = 57\text{mm}$

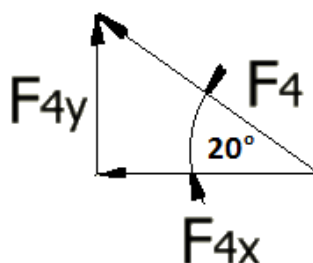
Vnitřní průměr svaru – $k_4 = 51\text{mm}$

Šířka svaru – $a_4 = 3\text{mm}$

Statická bezpečnost – $k_{s4} = 2$

Mez kluzu svarového kovu – $R_e = 410\text{MPa}$

Rozložení síly F_4 :



Obr.3.8 – Schéma rozložení síly F_4

$$F_{4x} = F_4 \cdot \cos 20^\circ = 1000 \cdot \cos 20^\circ = 939,7\text{N} \quad (41)$$

$$F_{4y} = F_4 \cdot \sin 20^\circ = 1000 \cdot \sin 20^\circ = 342\text{N} \quad (42)$$

$$\sum M_{R4A} = 0 \quad (43)$$

$$F_{4x} \cdot n_4 + F_{4y} \cdot m_4 + R_{4by} \cdot m_5 = 0$$

$$R_{4by} = \frac{-F_{4x} \cdot n_4 - F_{4y} \cdot m_4}{m_5} = \frac{-939,7 \cdot 660 - 342 \cdot 530}{44,5} = -18010,4\text{N}$$

$$\sum F_{R4x} = 0 \quad (44)$$

$$-F_{4x} - R_{4Ax} = 0$$

$$R_{4Ax} = -F_{4x}$$

$$R_{4Ax} = -939,7N$$

$$\sum F_{R4y} = 0 \quad (45)$$

$$F_{4y} - R_{4Ay} + R_{4By} = 0$$

$$R_{4Ay} = -F_{4y} + R_{4By}$$

$$R_{4Ay} = -342 - 18010,4 = -18352,4N$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na smyk:

$$\tau_{//4} = \frac{R_{4Ay}}{S_{s4}} = \frac{18352,4}{508,9} = 36MPa \quad (46)$$

$$S_{s4} = \frac{\pi \cdot ((k_4 + 2 \cdot a_4)^2 - k_4^2)}{4} = \frac{\pi \cdot ((51 + 2 \cdot 3)^2 - 51^2)}{4} = 508,9mm^2 \quad (47)$$

Dovolené napětí ve svaru:

$$\tau_{DSV4} = \beta_4 \cdot \sigma_{DOV4} = \beta_4 \cdot \frac{R_e}{k_{s4}} = 1,2 \cdot \frac{410}{2} = 246MPa \quad (48)$$

β - Součinitel tloušťky koutového svaru, $\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z$ (pro $z < 10mm$)

$$z_4 = \sqrt{2} \cdot a_4 = 1,41 \cdot 3 = 4,24mm \quad (49)$$

$$\beta_4 = 1,3 - 0,03 \cdot z_4 = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,2 \quad (50)$$

Pevnostní podmínka:

$$\tau_{red4} = k_{s2} \cdot \tau_{//4} \leq \beta_4 \cdot \sigma_{DOV4} \quad (51)$$

Převodní součinitel boční – $k_{s2} = 0,65$

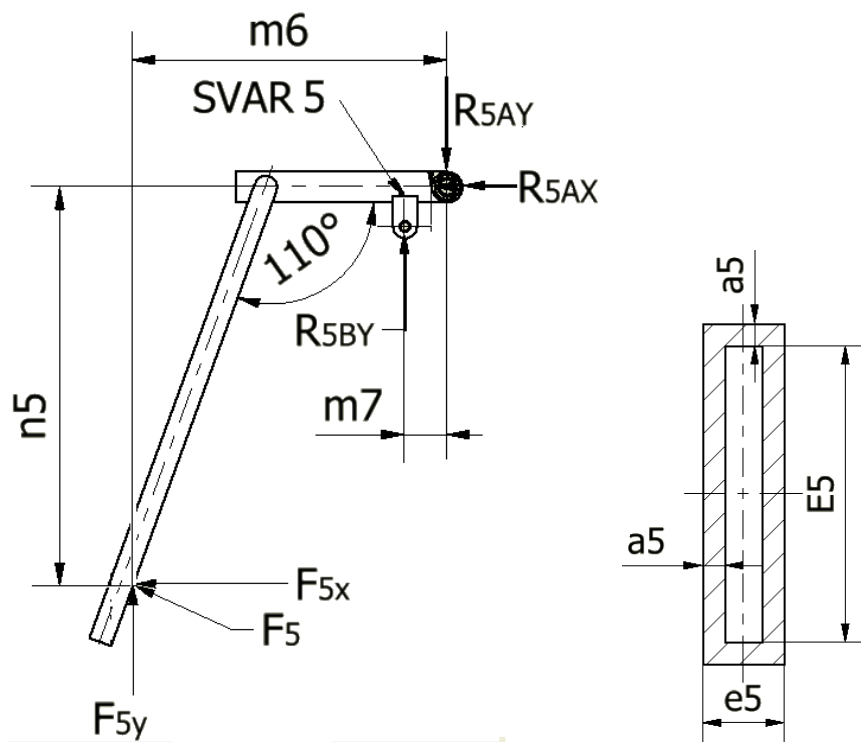
$$\tau_{red4} = 0,65 \cdot 36 = 23,4MPa$$

$$\tau_{red4} < \tau_{DSV4} \quad (52)$$

$$23,4 < 246 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.2.5 Kontrola svaru 5

Svar spojuje rameno páky s přírubou na čep táhla. Na tento koutový svar působí polovina síly R_{5by} , jelikož kontroluji jednu přírubu čepu. Svar je kontrolován na namáhání na tah.



Obr.3.9 – Zatěžující síla a nosný průřez svaru 5

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_5 = 1000\text{N}$

Délka ramene síly – $m_6 = 554,5\text{mm}$

Délka ramene síly – $n_5 = 660\text{mm}$

Délka ramene reakce – $m_7 = 69,5\text{mm}$

Délka svaru – $E_5 = 40\text{mm}$

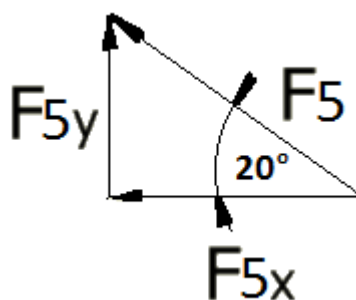
Délka svaru – $e_5 = 11\text{mm}$

Šířka svaru – $a_5 = 3\text{mm}$

Statická bezpečnost – $k_{s5} = 2$

Mez kluzu svarového kovu – $R_e = 410\text{MPa}$

Rozložení síly F_5 :



Obr.3.10 – Schéma rozložení síly F_5

$$F_{5x} = F_5 \cdot \cos 20^\circ = 1000 \cdot \cos 20^\circ = 939,7N \quad (53)$$

$$F_{5y} = F_5 \cdot \sin 20^\circ = 1000 \cdot \sin 20^\circ = 342N \quad (54)$$

$$\sum M_{R5A} = 0 \quad (55)$$

$$F_{5x} \cdot n_5 + F_{5y} \cdot m_6 + R_{5By} \cdot m_7 = 0$$

$$R_{5By} = \frac{-F_{5x} \cdot n_5 - F_{5y} \cdot m_6}{m_7} = \frac{-939,7 \cdot 660 - 342 \cdot 554,5}{69,5} = -11652,4N$$

$$\sum F_{R5x} = 0 \quad (56)$$

$$-F_{5x} - R_{5Ax} = 0$$

$$R_{5Ax} = -F_{5x}$$

$$R_{5Ax} = -939,7N$$

$$\sum F_{R5y} = 0 \quad (57)$$

$$F_{5y} - R_{5Ay} + R_{5By} = 0$$

$$R_{5Ay} = +F_{5y} + R_{5By}$$

$$R_{5Ay} = 342 - 11652,4 = -11310,4N$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na smyk:

$$\tau_{\perp 5} = \frac{\frac{R_{5by}}{2}}{S_{s5}} = \frac{5826,2}{306} = 19MPa \quad (58)$$

$$S_{s5} = 2 \cdot a_5 \cdot (E_5 + e_5) = 2 \cdot 3 \cdot (40 + 11) = 306mm^2 \quad (59)$$

Dovolené napětí ve svaru:

$$\tau_{DSV5} = \beta_5 \cdot \sigma_{DOV5} = \beta_5 \cdot \frac{R_e}{k_{s5}} = 1,2 \cdot \frac{410}{2} = 246MPa \quad (60)$$

β - Součinitel tloušťky koutového svaru, $\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z$ (pro $z < 10mm$)

$$z_5 = \sqrt{2} \cdot a_5 = 1,41 \cdot 3 = 4,24mm \quad (61)$$

$$\beta_5 = 1,3 - 0,03 \cdot z_5 = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,2 \quad (62)$$

Pevnostní podmínka:

$$\tau_{red5} = k_{s51} \cdot \tau_{\perp 5} \leq \beta_5 \cdot \sigma_{DOV5} \quad (63)$$

Převodní součinitel čelní - $k_{s5} = 0,65$

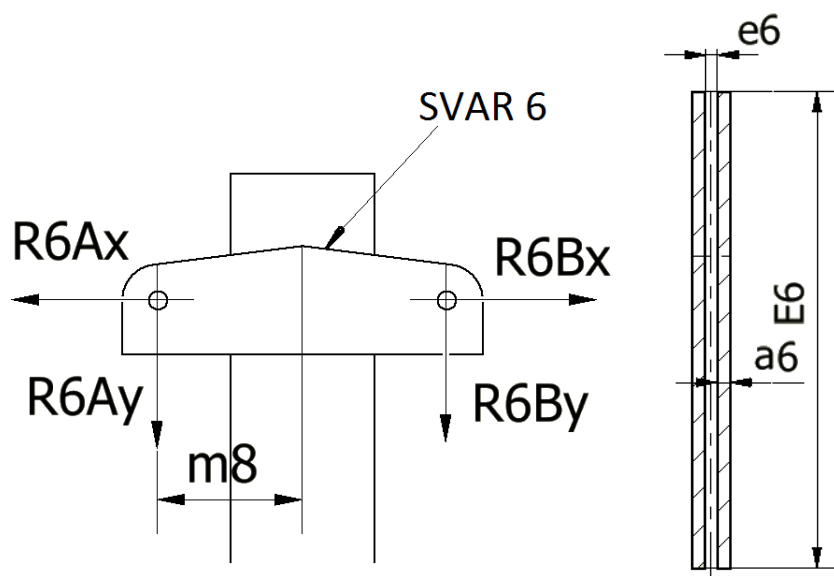
$$\tau_{red5} = 0,65 \cdot 19 = 12,4MPa$$

$$\tau_{red5} < \tau_{DSV5} \quad (64)$$

$$12,4 < 246 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

3.2.6 Kontrola svaru 6

Na koutový svár působí reakční síly a je velmi důležité zkontrolovat, jelikož nese zatížení, jak konstrukce pro posilování horní, tak i dolní části těla. Svar spojuje hlavní stojan konstrukce s nosníkem.



Obr.3.11 – Zatěžující reakční síly a nosný průřez svaru 6

Reakční síly jsou získány z předchozích výpočtů:

$$R_{5Ax}, R_{5Ay}, R_{Abx}, R_{Aby}$$

Délka ramene síly – $m_8 = 200\text{mm}$

Délka svaru – $E_6 = 40\text{mm}$

Délka svaru – $e_6 = 3\text{mm}$

Šířka svaru – $a_6 = 3\text{mm}$

Statická bezpečnost – $k_{s6} = 2$

Mez kluzu svarového kovu – $R_e = 410\text{ MPa}$

Celkové zatěžující síly:

$$R_{6Ax} = \frac{R_{5Ax}}{2} = \frac{-939,7}{2} = -469,8\text{N} \quad (65)$$

$$R_{6Bx} = \frac{R_{Abx}}{2} = \frac{-555}{2} = -277,5\text{N} \quad (66)$$

$$R_{6Ay} = \frac{R_{5Ay}}{2} = \frac{11310,4}{2} = 5655,2\text{N} \quad (67)$$

$$R_{6By} = \frac{R_{Aby}}{2} = \frac{1500}{2} = 750\text{N} \quad (68)$$

Celkový zatěžující moment:

$$M_{0sv6} = R_{A6y} \cdot m_8 = 5655,2 \cdot 200 = 1131040 Nmm \quad (69)$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na ohyb:

$$\sigma_{\perp 6} = \frac{M_{0sv6}}{W_{0sv6}} = \frac{M_{0sv6}}{\frac{J_{z6}}{e_{s6}}} = \frac{1131040}{\frac{1696275}{78}} = 52 MPa \quad (70)$$

$$e_{s6} = \frac{E_6}{2} + a_6 = \frac{150}{2} + 3 = 78 mm \quad (71)$$

$$W_{0sv6} = \frac{J_{z6}}{e_{s6}} = \frac{J_{z6}}{\frac{E_6}{2} + a_6} \quad (72)$$

Kvadratický moment průřezu svaru:

$$J_{z6} = \frac{a_6 \cdot E_6^3}{6} + \frac{E_6 \cdot ((e_6 \cdot 2 \cdot a_6)^3 - e_6^3)}{12} \quad (73)$$

$$J_{z6} = \frac{3 \cdot 150^3}{6} + \frac{150 \cdot ((3 \cdot 2 \cdot 3)^3 - 3^3)}{12} = 1696275 mm^4$$

Výpočet napětí ve svaru při namáhání na smyk:

$$\tau_{//6} = \frac{R_{6Ay} + R_{6By}}{S_{s6}} = \frac{5655,2 + 750}{900} = 7,1 MPa \quad (74)$$

$$S_{s6} = 2 \cdot a_6 \cdot E_6 = 2 \cdot 3 \cdot 150 = 900 mm^2 \quad (75)$$

Dovolené napětí ve svaru:

$$\tau_{DSV6} = \beta_6 \cdot \sigma_{DOV6} = \beta_6 \cdot \frac{R_e}{k_{s6}} = 1,2 \cdot \frac{410}{2} = 246 MPa \quad (76)$$

β - Součinitel tloušťky koutového svaru, $\beta = 1,3 - 0,03 \cdot z$ (pro $z < 10 mm$)

$$z_6 = \sqrt{2} \cdot a_6 = 1,41 \cdot 3 = 4,24 mm \quad (77)$$

$$\beta_6 = 1,3 - 0,03 \cdot z_6 = 1,3 - 0,03 \cdot 4,24 = 1,2 \quad (78)$$

Pevnostní podmínka:

$$\tau_{red6} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\perp 6}}{k_{6S1}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{//6}}{k_{6S2}}\right)^2} \leq \beta_6 \cdot \sigma_{DOV6} \quad (79)$$

Převodní součinitel čelní - $k_{6S1} = 0,75$

Převodní součinitel boční - $k_{6S2} = 0,65$

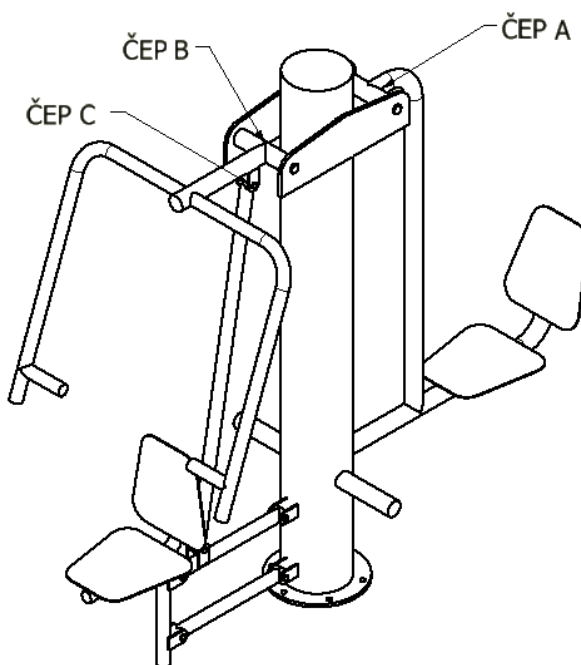
$$\tau_{red6} = \sqrt{\left(\frac{52}{0,75}\right)^2 + \left(\frac{7,1}{0,65}\right)^2} = 70,1 MPa$$

$$\tau_{red6} < \tau_{DSV6} \quad (80)$$

$$70,1 < 246 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3 Kontrola čepů

Spojovací čepy se používají k rotačnímu spojení strojních součástí, které přenáší tlakovou nebo tahovou sílu, která je kolmá na osu čepu. Čepy se zajišťují závlačkou, pojistným kroužkem nebo maticí proti axiálnímu posunutí. Na posilovacím stroji jsou použity normalizované čepy s hlavou ČSN 02 2109 tvaru B. Čepy A,B jsou z oceli 11 500, jejíž mez kluzu je $Re = 245\text{MPa}$. Čep C je z oceli 11 700, jehož mez kluzu je $Re = 345\text{MPa}$. V každém čepu konstrukce jsou uložena dvě ložiska ČSN 02 4630. Proti axiálnímu posunutí, jsou čepy zajištěny závlačkami. Na obrázku Obr.4.1 jsou znázorněné čepy, na kterých jsem provedl pevnostní výpočty.



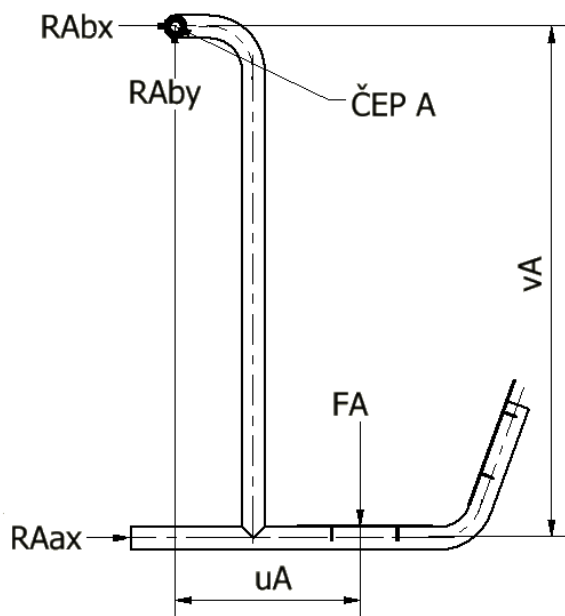
Obr.4.1 – Posilovací stroj s vyznačenými čepy

4.3.1 Kontrola čepu A, B

Oba použité čepy jsou totožné, proto je nutné zjistit, na který čep působí největší zatížení. Podle výpočtu sil na oba čepy vyšlo, že čep B je více zatěžován než čep A, a proto bude stačit zkontrolovat pouze čep B. V obou čepích jsou použita dvě ložiska 6004 ČSN 02 4630.

- Výpočet zatížení na čep A

Na čep A působí radiální síla R_{Ab} , která byla vypočítána z maximální hmotnosti cvičence F_A na rameni u_A . Největší zatížení bude působit na čep A, když bude sedací část ve vodorovné poloze.



Obr.4.2 – Zatěžující síla na čep A

Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_A = 1500\text{N}$

Délka ramene síly – $u_A = 425,5\text{mm}$

Délka ramene reakce – $v_A = 1150\text{mm}$

$$\sum M_{R_{Ab}} = 0 \quad (81)$$

$$F_A \cdot u_A - R_{A_{ax}} \cdot v_A = 0$$

$$R_{ax} = \frac{F_A \cdot u_A}{v_A} = \frac{1500 \cdot 425,5}{1150} = 555\text{N}$$

$$\sum F_{A_{bx}} = 0 \quad (82)$$

$$R_{A_{ax}} + R_{A_{bx}} = 0$$

$$R_{Abx} = -R_{Aax}$$

$$R_{Abx} = -555N$$

$$\sum F_{Aby} = 0 \quad (83)$$

$$F - R_{Aby} = 0$$

$$R_{Aby} = F$$

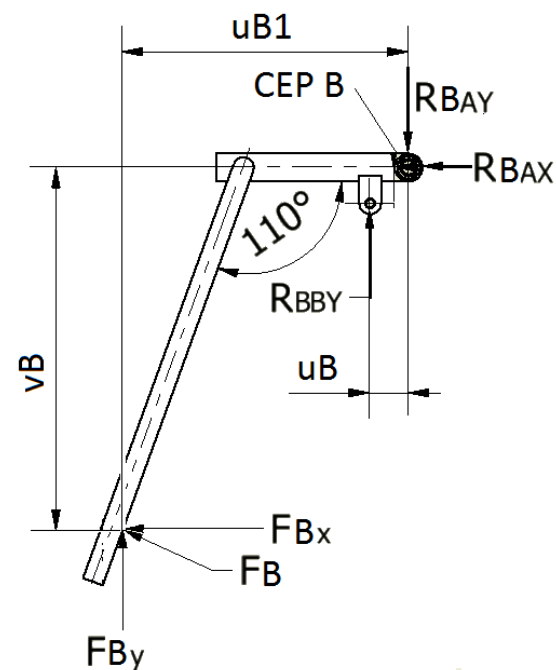
$$R_{Aby} = 1500N$$

Reakce na čep:

$$R_{Ab} = \sqrt{R_{Abx}^2 + R_{Aby}^2} = \sqrt{-555^2 + 1500^2} = 1599,4N \quad (84)$$

- **Výpočet zatížení na čep B**

Na čep B působí radiální síla R_{BA} , která byla vypočítána z maximální síly rukou cvičence F_B . Maximální sílu F_B jsem zvolil 1000N.



Obr.4.3 – Zatěžující síla na čep B

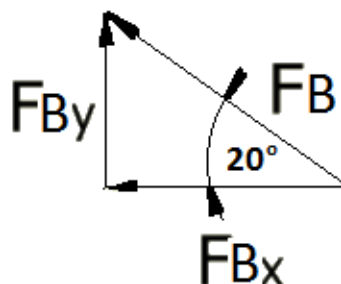
Maximální síla, kterou působí cvičenec – $F_B = 1000\text{N}$

Délka ramene síly – $u_{B1} = 554,5\text{mm}$

Délka ramene síly – $v_B = 660\text{mm}$

Délka ramene reakce – $u_B = 69,5\text{mm}$

Rozložení síly F_B :



Obr.4.4 – Schéma rozložení síly F_B

$$F_{Bx} = F_B \cdot \cos 20^\circ = 1000 \cdot \cos 20^\circ = 939,7\text{N} \quad (85)$$

$$F_{By} = F_B \cdot \sin 20^\circ = 1000 \cdot \sin 20^\circ = 342\text{N} \quad (86)$$

$$\sum M_{RBA} = 0 \quad (87)$$

$$F_{Bx} \cdot v_B + F_{By} \cdot u_{B1} + R_{BBY} \cdot u_B = 0$$

$$R_{BBY} = \frac{-F_{Bx} \cdot v_B - F_{By} \cdot u_{B1}}{u_B} = \frac{-939,7 \cdot 660 - 342 \cdot 554,5}{69,5} = -11652,4\text{N}$$

$$\sum F_{BAx} = 0 \quad (88)$$

$$-F_{Bx} - R_{BAx} = 0$$

$$R_{BAx} = -F_{Bx}$$

$$R_{BAx} = -939,7\text{N}$$

$$\sum F_{BAy} = 0 \quad (89)$$

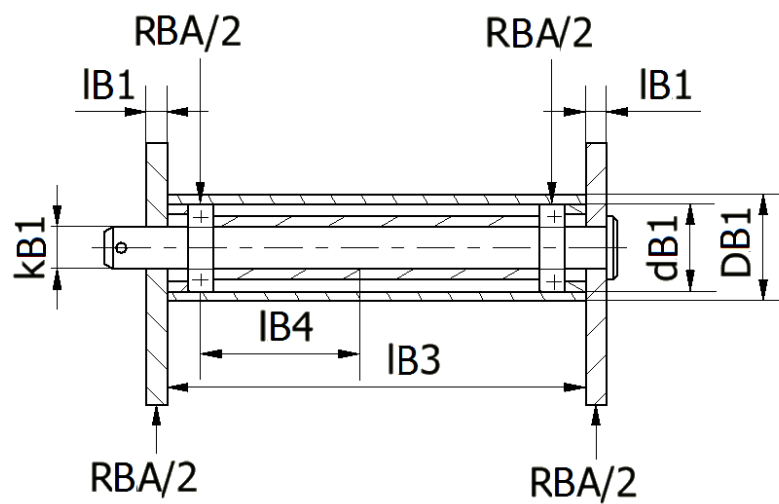
$$F_{By} - R_{BAy} + R_{BBY} = 0$$

$$R_{BAy} = -F_{By} + R_{BBy}$$

$$R_{BAy} = 342 - 11652,4 = -11310,4N$$

Reakce na čep:

$$R_{BA} = \sqrt{R_{BAx}^2 + R_{BAy}^2} = \sqrt{-939,7^2 - 11310,4^2} = 11349,4N \quad (90)$$



Obr.4.5 – Namáhání čepu B silou F_{AB}

Maximální zatěžující síla – $R_{BA} = 11349,4N$

Tloušťka stěny materiálu – $l_{B1} = 10mm$

Tloušťka ložiska – $l_{B2} = 12mm$

Délka pouzdra – $l_{B3} = 200mm$

Průměr čepu – $k_{B1} = 20mm$

Vnější průměr pouzdra – $D_{B1} = 51mm$

Vnitřní průměr pouzdra – $d_{B1} = 42mm$

Délka po střed ložiska – $l_{B4} = 84mm$

Materiál čepu 11 500:

Hodnota dovoleného napětí – $\sigma_{DB} = 100MPa$

Hodnota dovoleného napětí – $\rho_{DB} = 70MPa$

Hodnota dovoleného tlaku – $\tau_{DB} = 100MPa$

Materiál příčnicku 11 375 :

Hodnota dovoleného napětí – $\rho_{DB1} = 100MPa$

Celkový zatěžující moment čepu:

$$M_{0B} = \frac{R_{BA}}{2} \cdot \left(\frac{l_{B2}}{2} + \frac{l_{B1}}{2} \right) = \frac{11349,4}{2} \cdot \left(\frac{12}{2} + \frac{10}{2} \right) = 62422,3Nmm \quad (91)$$

Minimální průměr čepu:

$$k_B = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{0B}}{\pi \cdot \sigma_{DB}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 62422,3}{\pi \cdot 100}} = 18,5mm \quad (92)$$

Volím čep 20x250 A ČSN 02 2109

Kontrola na otlačení čepu:

$$\rho_B = \frac{R_{BA}}{2 \cdot k_{B1} \cdot l_{B1}} = \frac{11349,4}{2 \cdot 20 \cdot 10} = 28,4 MPa < 70MPa \quad (93)$$

Kontrola na střih čepu:

$$\tau_{sB} = \frac{2 \cdot R_{BA}}{\pi \cdot k_{B1}^2} = \frac{2 \cdot 11349,4}{\pi \cdot 20^2} = 18MPa < 70MPa \quad (94)$$

Kontrola pouzdra na ohyb:

Statická bezpečnost – $k_{sB} = 2$

Mez kluzu materiálu pouzdra – $R_e = 355MPa$

$$M_{PoB} = \frac{R_{BA}}{2} \cdot l_{B4} = \frac{11349,4}{2} \cdot 84 = 476674,8Nmm \quad (95)$$

Průřezový modul v ohybu:

$$W_{PoB} = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_{B1}^4 - d_{B1}^4}{D_{B1}} \right) = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{51^4 - 42^4}{51} \right) = 7032,98mm^3 \quad (96)$$

Výpočet maximálního napětí:

$$\sigma_{PoB} = \frac{M_{PoB}}{W_{PoB}} = \frac{476674,8}{7032,98} = 67,8 \text{ MPa} \quad (97)$$

Maximální dovolené napětí:

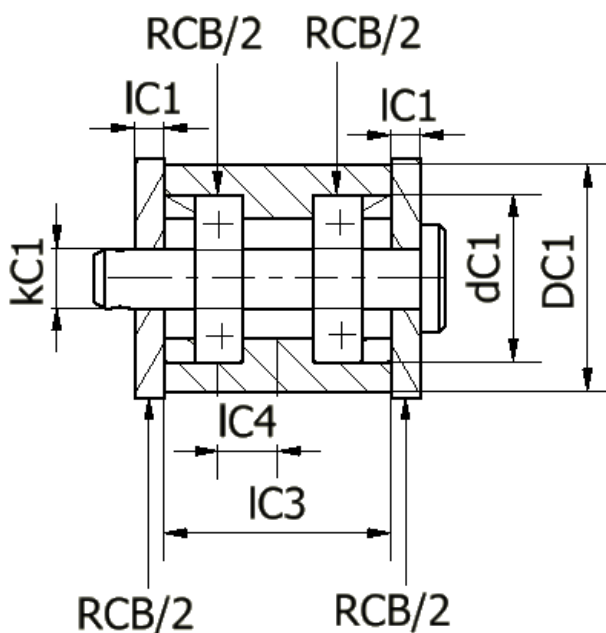
$$\sigma_{PDOVB} = \frac{R_e}{k_{sB}} = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ MPa} \quad (98)$$

$$\sigma_{PoB} < \sigma_{PDOVB} \quad (99)$$

$$67,8 < 177,5 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.3.2 Kontrola čepu C

Čep C je totožný se zbylými čepy konstrukce a je nejvíce namáhán. Na čep působí reakční síla R_{CB} , která je totožná jako reakční síla R_{5By} použita u výpočtu svaru 5. V čepích jsou použita ložiska typu 6001 ČSN 02 4630.



Obr.4.6 – Namáhání čepu C silou F_{CB}

Maximální zatěžující síla – $R_{CB} = R_{5By} = 11652,4N$

Tloušťka stěny materiálu – $l_{C1} = 5mm$

Tloušťka ložiska – $l_{C2} = 8mm$

Délka pouzdra – $l_{C3} = 38mm$

Průměr čepu – $k_{C1} = 12mm$

Vnější průměr pouzdra – $D_{C1} = 38mm$

Vnitřní průměr pouzdra – $d_{C1} = 28mm$

Délka po střed ložiska – $l_{C4} = 10mm$

Materiál čepu 11 700:

Hodnota dovoleného napětí – $\sigma_{DC} = 230MPa$

Hodnota dovoleného napětí – $\tau_{DC} = 100 MPa$

Hodnota dovoleného tlaku – $\rho_{DC} = 150MPa$

Materiál příčníku 11 375 :

Hodnota dovoleného napětí – $\rho_{DC1} = 100MPa$

Celkový zatěžující moment čepu:

$$M_{0c} = \frac{R_{CB}}{2} \cdot \left(\frac{l_{C2}}{2} + \frac{l_{C1}}{2} \right) = \frac{11652,4}{2} \cdot \left(\frac{8}{2} + \frac{5}{2} \right) = 37870,3 Nmm \quad (100)$$

Minimální průměr čepu:

$$k_C = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{0c}}{\pi \cdot \sigma_{dov}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 37870,3}{\pi \cdot 230}} = 11,9mm \quad (101)$$

Volím čep 12x55 A ČSN 02 2109

Kontrola na otlačení čepu:

$$\rho_C = \frac{R_{CB}}{2 \cdot k_{C1} \cdot l_{C1}} = \frac{11652,4}{2 \cdot 12 \cdot 5} = 97,1 MPa < 150MPa \quad (102)$$

Kontrola na střih čepu:

$$\tau_{sc} = \frac{2 \cdot R_{CB}}{\pi \cdot k_{C1}^2} = \frac{2 \cdot 11652,4}{\pi \cdot 12^2} = 51,5MPa < 100MPa \quad (103)$$

Kontrola pouzdra na ohyb:

Statická bezpečnost – $k_{sC} = 2$

Mez kluzu materiálu pouzdra – $R_e = 355 \text{ MPa}$

$$M_{PoC} = \frac{R_{CB}}{2} \cdot l_{C4} = \frac{11652,4}{2} \cdot 10 = 58262 \text{ Nm} \quad (104)$$

Průřezový modul v ohybu:

$$W_{PoC} = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{D_{C1}^4 - d_{C1}^4}{D_{C1}} \right) = \frac{\pi}{32} \cdot \left(\frac{38^4 - 28^4}{38} \right) = 3799 \text{ mm}^3 \quad (105)$$

Výpočet maximálního napětí:

$$\sigma_{PoC} = \frac{M_{oC}}{W_{oC}} = \frac{58262}{3799} = 15,3 \text{ MPa} \quad (106)$$

Maximální dovolené napětí:

$$\sigma_{PDOVC} = \frac{R_e}{k_{sC}} = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ MPa} \quad (107)$$

$$\sigma_{PoC} < \sigma_{PDOVC} \quad (108)$$

$$15,3 < 177,5 \rightarrow \text{vyhovuje}$$

5 Popis zařízení

Navržený posilovací stroj je určený pro venkovní prostory, parky, hřiště. Umožňuje posilování dvou osob současně. Maximální hmotnost cvičence byla stanovena na 150kg. Stroj je konstruovaný tak, aby se dal v případě potřeby rozložit na části. To je vhodné pro snadnější přepravu a samotnou instalaci na dané místo. Celý posilovací stroj stojí na hlavním nosném sloupu, který bude ukotven do betonového bloku pomocí šesti šroubů. To zaručí bezpečnou stabilitu konstrukce.

První část stroje je určena k posilování spodní části těla. Cvičenec sedne na sedadlo, záda opře o opěrku a nohy na nášlapy. Nohama tlačí do nášlapů dokud nebudou napnuté. Druhá část slouží k posilování horní části těla. Kdy si cvičenec posadí na sedadlo a oběma rukama odtlačuje páku směrem od sebe.

Všechny části stroje jsou povrchově upraveny kvalitní barvou, aby odolával nepříznivým podmínkám počasí. Zařízení neumožňuje možnost regulace zátěže.



Obr.5. 1 – Venkovní posilovací stroj

6 Závěr

Dle stanovených požadavků jsem navrhl jednoduchý venkovní posilovací stroj pro 2 osoby pro posilování, jak dolní, tak i horní části těla. Nejprve jsem uvedl literární rešerši historie a rozdělení posilovacích strojů, podle kterých jsem navrhl vhodné řešení venkovního posilovacího stroje. Následně jsem navrhl konstrukci, na které jsem poté zkontroloval kritické místa ohyby konstrukce, svary, čepy. Na závěr jsem uvedl popis stroje a přidělil výkresovou dokumentaci.



Obr.6. 1 – Venkovní posilovací stroj

Seznam Použité literatury

- [1] KALÁB, Květoslav. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře. Části spojovací*, Skriptum VŠB - TU Ostrava. Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-1290-8
- [2] LEINVEBER, J. - VÁVRA, P. *Strojnické tabulky. Páté upravené vydání*. Albra, Úvaly, 2011. 927 s. ISBN 978-80-7361-081-4
- [3] KŘÍŽ, R. - VÁVRA, P. *Strojnická příručka. 6. Svazek*. Scienta, Praha, 1995. 291 s. ISBN 80-85827-88-3
- [4] Svárové spoje. mitcalc. [online]. [cit. 2016-02-02].
<http://www.mitcalc.com/doc/welding/help/cz/welding.htm>
- [5] Zacha.s.r.o. [online]. [cit. 2016-02-02].
<http://www.zacha.cz/potrubi>
- [6] COLMEX . [online]. [cit. 2016-02-02].
<http://www.colmex.cz/produkty/rada-ce-celonerezove-provedeni/>
- [7] Historie posilovacích strojů . [online]. [cit. 2016-02-02].
<http://www.stoplusjednicka.cz/proti-proudu-casu-jak-vypadaly-posilovny-na-konci-19-stoleti>
- [8] AZ- SVARECITECHNIKA . [online]. [cit. 2016-02-02].
<http://www.az-svarecitechnika.cz/pridavne-svareci-materialy/obalovane-svareci-elektrody/>
- [9] SKF.COM . [online]. [cit. 2016-02-02].
<http://www.skf.com/cz/products/bearings-units-housings/ball-bearings/product-tables-ball/index.html>

Seznam příloh

Název výkresů:	číslo výkresů:	Formát:
POSILOVACÍ STROJ A	HLA0114-01A	A1
POSILOVACÍ STROJ B	HLA0114-01B	A1
NOSNÍK	HLA0114-02	A3
POSILOVACÍ STROJ - SEZNAM POLOŽEK	HLA0114-03	A4

Rád bych poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce, paní Ing. Ivaně Kunzové, Ph.D. za odbornou pomoc a veškerý věnovaný čas.